

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 19920101152779

UDC\_\_\_\_\_

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

# 一种 PFM 升压型 LED 驱动芯片的设计

Design of a PFM Boost LED driver

王婷玉

指导教师姓名: 冯勇建 教授

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩时间: 2013 年 6 月

学位授予日期: 2013 年 6 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（  
）课题（组）  
的研究成果，获得（  
）课题（组）经费或实验室的  
资助，在（  
）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘要

本文针对电视、显示器背光、太阳能 LED 路灯等需要大功率输出及高驱动电压的应用场合，采用 PFM 双环控制技术解决了 Boost 开关电源固有的稳定性问题，设计了一款高效率、多负载及具有多种保护功能的大功率 PFM 升压型驱动芯片。

论文设计了外部电压反馈、内部电流控制的 PFM 控制电路结构，实现了稳定的无需谐波补偿的 Boost 开关电源结构，提高了芯片转化效率；提出用负载电容等效串联电阻的电压突变特性控制功率管输出的方法，实现了 PFM 的工作模式，达到电流的精确控制；采用延时控制模块对输出电平进行监测，实现了功率管的最长导通时间和最短关断时间的设计，解决了峰值电流检测和输出电流检测异常引发的器件故障及 LED 无法正常工作的问题。正端双输入放大器实现了模拟直流 0.5V~2.4V 调光和 PWM 调光模式；针对大电流输出的要求，采用功率 MOS 管外置，解决了大电流带来的散热问题；芯片还内置过压保护、过温保护及欠压保护等基本保护功能，通过设计零电压比较器实现了 OVP 引脚及输出短路的保护，保证了芯片工作的安全可靠。

本文阐述了芯片的典型应用及其工作原理，给出了外围器件的选择方法。对电路进行了设计、仿真以及版图的制作，并结合成本、散热等方面的考虑选择了性价比合理的 SOP-8 封装。产品在输入电压为 5V~100V 的范围下合理设置器件参数，可以根据负载 LED 个数能自动调整输出电压，提供 2A 以上的驱动电流，工作效率可以达到 90%以上。测试结果达到预期，市场前景良好。

**关键词：**Boost 升压 PFM LED 驱动

## Abstract

This paper uses PFM double loop control to solve the stability problem that other boost drivers have, and designs a high power PFM boost driver that has high efficiency, multi-load and various protection function, aiming at high power output and high driving voltage applications such as display backlight, solar LED streetlight.

The paper designs a PFM control circuit structure that has external voltage feedback and inner current control and implements the stable Boost structure without harmonic compensation, thus improves the conversion efficiency. The paper proposes the method that using voltage mutation characteristics of the equivalent series resistance of the load capacitance to control the power MOS, and achieves the PFM work mode to get accurate control of the LED current. By using the delay control module to monitor the output signal, the longest turn on time and the shortest turn off time of the power MOS are realized, and the problem caused by abnormal status of peak current sense and output current sense is solved. Dual-input amplifier supports 0.5V to 2.4V DC dimming range and PWM dimming mode. According to the characteristics of large current output, it uses external power MOS to solve the heat dissipation problem of large current. Basic protection functions such as over-voltage protection, under-voltage lockout protection and over-temperature protection circuit are built in, and output short protection is achieved by the zero voltage comparator, therefore the safety of the chip is ensured.

This paper expounds the typical application of the chip and its working principle, and gives the selection method of peripheral devices. The chip finishes the circuit simulation and layout. Combined with aspects such as cost and heat dissipation, SOP-8 package is chose by the reasonable ratio. The products can automatically adjust the output voltage according to the number of LED load, provide a driving current above 2A, and can reach above 90% efficiency by setting reasonable device parameter with an input voltage range of 5V~100V. Test results meet expectations,

and they have a competitive market prospect.

**Key words:** Boost; PFM; LED driver

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目 录

中文摘要.....	1
英文摘要.....	11
第一章 绪论.....	1
1.1 模拟 CMOS 集成电路的发展概况.....	1
1.2 LED 照明产业的发展概况.....	2
1.3 本文的研究背景和意义.....	4
1.4 本论文的主要工作.....	4
第二章 LED 基础及开关电源架构.....	5
2.1 LED 基础.....	5
2.1.1 LED 的发光特性.....	5
2.1.2 LED 的连接方式.....	6
2.1.3 LED 的驱动方式.....	7
2.2 开关电源架构.....	9
2.2.1 开关电源的拓扑结构.....	9
2.2.2 开关电源的调制方式.....	13
第三章 系统的整体分析与 PFM 功能实现.....	15
3.1 系统的典型应用及工作原理.....	15
3.2 系统的稳定性分析.....	17
3.3 外围元器件的选择.....	17
3.4 调光及保护功能.....	19
3.5 芯片整体构架设计.....	21
3.6 PFM 控制模块的设计.....	23
3.6.1 逻辑功能的实现.....	23
3.6.2 比较器设计.....	25

3.7 时间控制模块的设计.....	32
3.7.1 最短关断时间控制模块的设计.....	32
3.7.2 最长导通时间控制模块的设计.....	36
<b>第四章 基本模块电路的设计.....</b>	<b>43</b>
4.1 稳压电源模块.....	43
4.2 参考电压模块.....	44
4.3 欠压锁定模块.....	54
4.4 上电复位模块.....	56
4.5 调光控制模块.....	57
4.6 驱动控制模块.....	61
<b>第五章 芯片的总体仿真及分析.....</b>	<b>64</b>
5.1 芯片整体仿真及分析.....	64
5.2 芯片故障保护功能仿真.....	67
<b>第六章 芯片的版图设计与测试.....</b>	<b>70</b>
6.1 芯片的引脚定义.....	70
6.2 芯片的版图设计.....	71
6.3 芯片的测试结果.....	74
<b>第七章 总结与展望.....</b>	<b>80</b>
<b>参 考 文 献.....</b>	<b>81</b>
<b>攻读硕士学位期间的科研成果.....</b>	<b>85</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>86</b>



# Table of Contents

<b>Abstract in Chinese.....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract in English.....</b>	<b>II</b>
<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Development of CMOS analog integrated circuits.....	1
1.2 Development of LED lighting industry.....	2
1.3 The background and significance of this paper.....	4
1.4 The main work of the subject.....	4
<b>Chapter 2 The basis of LED and the switching power supply.....</b>	<b>5</b>
2.1 The basis of LED.....	5
2.1.1 Luminescent properties of LED.....	5
2.1.2 Connection mode of LED.....	6
2.1.3 Driving mode of LED.....	7
2.2 Architecture of the switching power supply.....	9
2.2.1 Topological structure of switching power supply.....	9
2.2.2 Modulation of switching power supply.....	13
<b>Chapter 3 Overall analysis and the implementation of PFM system</b>	<b>15</b>
3.1 The typical application and working principle of the system.....	15
3.2 Analysis of the stability of the system.....	17
3.3 Selection of the peripheral components.....	17
3.4 Dimming and protection.....	19
3.5 Module partition of the chip.....	21
3.6 Design of the PFM control module.....	23
3.6.1 Implementation of logic function.....	23
3.6.2 Comparator.....	25
3.7 Design of the time control module.....	32

3.7.1 Design of the Toff control module.....	32
3.7.2 Design of the Ton control module.....	36
<b>Chapter 4 Design of the basic module circuit.....</b>	<b>43</b>
4.1 The voltage regulator module.....	43
4.2 The reference voltage module.....	44
4.3 The UVLO module.....	54
4.4 The POR module.....	56
4.5 The dimming control module.....	57
4.6 The driving control module.....	61
<b>Chapter 5 Simulation and analysis of the chip.....</b>	<b>64</b>
5.1 Overall simulation and analysis of the chip.....	64
5.2 Protect simulation of the chip.....	67
<b>Chapter 6 Layout and Test of the chip.....</b>	<b>70</b>
6.1 The pin definition.....	70
6.2 Layout design.....	71
6.3 Testing result.....	74
<b>Chapter 7 Summary and Outlook.....</b>	<b>80</b>
<b>Reference.....</b>	<b>81</b>
<b>Publications and patents for inventions.....</b>	<b>85</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>86</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 模拟 CMOS 集成电路的发展概况

1958 年, 杰克·基尔比在锗材料上用 5 个元件实现了一个简单的振荡器电路, 成为世界上第一块集成电路。这一发明揭开了 20 世纪信息革命的序幕, 标志着电子时代的到来。今天, 随着以计算机和通信技术为代表的高科技产品在国防科技、工业生产和日常生活中越来越广泛的应用, 以集成电路为代表的微电子产业也进入了一个前所未有的发展阶段<sup>[1]</sup>。世界微电子产业的发展日新月异, 在 1999 年世界集成电路的销售额达到了 1570 亿美元, 而以集成电路为基础的电子信息产品的世界贸易总额于 1998 年超过了 8000 亿美元, 成为世界第一大产业<sup>[2]</sup>。集成电路设计又分为模拟集成电路设计和数字集成电路设计, 自从 20 世纪 80 年代初期以来, 数字信号处理和集成电路技术一直在迅猛发展, 尽管许多类型的信号处理确实已转移到数字领域, 但是, 在现代许多复杂高性能系统中模拟电路从根本上已被证明是必需的。例如, 自然界信号模拟量的处理、长距离传输需要数模及模数转换的数字通信、磁盘驱动电子学、无线接收器、光接收器、传感器、微处理器和存储器等<sup>[3]</sup>。因此, 模拟集成电路仍然有其自身的价值和发展空间。

1960 年, 贝尔实验室的约翰·艾特拉和道旺·卡恩研发了第一个金属氧化物半导体 (MOS) 绝缘栅场效应晶体管<sup>[4-5]</sup>。1963 年, 仙童半导体实验室的弗兰克·哈里森的论文提到了互补金属氧化物半导体晶体管 (CMOS)<sup>[6-9]</sup>。在过去 30 余年里, 半导体器件的缩小是集成电路领域中最重要的事件之一。正如摩尔定律<sup>[10]</sup>所预言的那样, 每 18 个月, 芯片上器件的密度提高一倍, 其价格下降一半。CMOS 是大部分集成电路的基本工作单元<sup>[11]</sup>。CMOS 门只在开关期间消耗功率以及只需很少的元件。这也是它与相应的双极性或 GaAs 电路相比所具有的两个显著特点。此外, 人们很快发现, 与其他类型的晶体管相比, MOS 器件的尺寸很容易按比例缩小。而且 CMOS 电路被证明具有比较低的制造成本<sup>[3]</sup>。CMOS 源、漏和栅极几何尺寸的缩小, 不但提高了 MOSFET 器件的速度, 也使得在同样晶片面积上能制作更多的晶体管, 提升了器件密度<sup>[3][11]</sup>。由于 CMOS 的发明, 其低功耗得到了人们的认可, 这为低功耗的集成电路打下了基础, 并成为今天主流数字集成电

路的生产技术，到了 1964 年，第一块商用 MOS 集成电路在通用微电子有限公司诞生<sup>[12-13]</sup>，从此，由集成电路制成的电子仪器设备席卷整个行业。

## 1.2 LED 照明产业的发展概况

LED (Light Emitting Diode)，中文含义是发光二极管，它是利用固体半导体芯片作为发光材料，当两端加上正向电压，半导体中载流子发生复合，放出过剩能量而引起光子发射产生可见光。LED 照明对环境没有污染，是一种难得的绿色光源，它可以实现将电能转化为光。与普通的白炽灯、荧光灯等相比，具有体积小，耗电量低，使用寿命长，色彩丰富，环保而且具有良好的抗震性等优良性能。这些无疑都决定了 LED 在现代照明市场上处于领先优势地位，成为了理想的光源<sup>[14]</sup>。

LED 照明的应用领域非常广阔<sup>[15-17]</sup>：

1、在普通照明领域，虽然现在 LED 在电光转换效率和价格方面尚不能与荧光灯相比，但其光效提高速度惊人，且随着 LED 生产量的扩大其经济效益是不可估量的。除作为新一代照明光源外，许多建筑和照明设计师都认为 LED 可以为他们增添许多新的设计方式，由于 LED 尺寸小，方便对动态的亮度和颜色的控制，在表现物品的时尚和艺术时，LED 照明比传统照明有优势也更显灵活；

2、在背光照明领域，用于手机等小型液晶屏幕的背光源的市场需求量最大，在手机上到处可以见到 LED 的应用，如液晶屏的背光源、按键照明、收到信号时的发光提示、照相机闪光灯等，有的一部手机中安装了多达20个 LED。省电、小巧的 LED 有助于延长手机的通话时间和使手机小型化。作为中大型液晶背景光源，LED 不含汞等污染物质，LED 背光灯板的形状与尺寸也可以根据液晶面板的形状和大小而改变，它在汽车导航、电脑显示器等中大型液晶背光源领域有良好的发展前景。用 LED 作背光源的高显色性、高清晰画质的大屏幕液晶电视已开始商品化；

3、在道路交通领域，主要为交通信号灯。与白炽灯相比，LED 灯可以更高效的节能，而且，由于 LED 信号灯的使用寿命长，可大幅降低维护、废品处理等施工成本。除了环保方面的特点外，LED 灯的识别性也很强，即便受夕阳光照影响也不易造成不能辨认灯是否点亮的情况,在安全性方面也同样具有优势。

除交通信号灯外，LED 还以节能、寿命长、免维护、体积小等特点逐步应用于隧道内指示灯、路灯、隧道导向灯、路线导向灯等领域。

4、在交通工具领域，LED 汽车灯的优点为响应时间短、识别性强、能耗低、寿命长。LED 刹车灯的响应时间约比白炽灯短0.2s(时速100km 时行使5~7m)，其对于安全方面的贡献之大是显而易见的。

5、在招牌和显示屏领域，因使用高亮度 LED，即使在白天也能显示饱和色图像，而且 LED 的高响应速度亦使其在该领域表现出色。

6、在其他领域，如农业领域，用 LED 产生利于植物生长发育的特定波长的光（有助于光合作用的红光和增强屈光性、塑形用的蓝光），并在恰当的时间照射植物，可提高植物培育效率；在渔业领域，开发 LED 诱鱼灯可增加捕鱼效率；在医疗领域，可以使用 LED 的胶囊状医疗检测设备及外科手术照明；在通信领域，利用 LED 开发光通信网络等。

2003年6月，我国由科技部在“863”计划的支持下，在照明领域及时启动了“国家半导体照明工程”。2004年4月，科技部确定工作重点——发展新型照明行业，并确定福建厦门、上海、大连和江西南昌为首批四个国家半导体照明产业基地。通过“863”计划等科技计划的持，我国已经初步形成从外延片生产、芯片制备、器件封装集成应用的比较完整的产业链<sup>[18]</sup>。2011年10月，国家发改委正式发布中国淘汰白炽灯政府公告及路线图，并将2011年10月1日至2012年9月30日设为过渡期。根据路线图，到2016年，将全面禁止各种瓦数的白炽灯市面销售。在2011年至2016年，淘汰白炽灯有5年的过渡时间，为生产商、销售商以及消费者预留了较大的缓冲时间；并且行政命令将会导致厂商停止生产，经销商停止销售，其市场份额自然随之下降。2012年7月11日，科技部网站发布了《半导体照明科技发展“十二”五专项规划》。规划产业目标明确提出：到2015年，LED 产业规模达到5000亿元，培育20-30家掌握核心技术、拥有较多自主知识产权、自主品牌的龙头企业、扶持40-50家创新型高技术企业，建成50个“十城万盏”试点示范城市和20个创新能力强、特色鲜明的产业化基地，完善产业链条，优化产业结构，提高市场占有率，显著提升半导体照明产业的国际竞争力。这无疑给我国的LED 推广及普及应用提供了巨大的市场机遇。

### 1.3 本文的研究背景和意义

随着白光 LED 的发展<sup>[19-21]</sup>，其驱动 IC 的研究也大大的加快了<sup>[22-24]</sup>。LED 应用的关键技术之一是提供与其特性相适应的电源或驱动电路。由于 LED 是特性敏感的半导体器件，又具有负温度特性。因而在应用过程中需要对工作状态进行稳定以及电路保护，从而便产生了驱动的概念。LED 器件对驱动电源的要求近乎于苛刻，它不像普通的白炽灯，可以直接连接 220V 的交流市电，LED 是 2~3V 的低电压驱动，必须要设计复杂的变换电路，不同用途的 LED 灯，要配备不同的电源适配器。LED 电源的品质直接制约了 LED 产品的可靠性，同时也是 LED 长寿高效的关键保障。由于 LED 应用广泛，在不同场合下对于供电电压和电流驱动能力的要求有很大区别<sup>[25]</sup>。本设计针对各种大功率 LED 包括电视及显示器背光、太阳能 LED 路灯、室内 LED 照明、笔记本电脑、车灯等的应用场合提出了独特的 IC 驱动电路方案，通过外接电阻可以实现 5V-100V 的宽直流电压输入，并可以通过设置芯片外围参数升压至所需电压，相比于其他升压芯片使用更加灵活便捷，应用范围更广。

### 1.4 本论文的主要工作

本课题主要研究升压型 LED 驱动的集成电路实现，其采用外置 NMOS，通过外接电阻可实现 5V-100V 的宽电压输入，工作于 PFM 模式，并内置各种保护电路。电路采用 0.6 $\mu$ m 线宽的 Nuvoton 工艺实现，并给出了整体电路及主要模块电路的设计，完成了各个模块和系统的仿真以及版图的设计。本文各章节内容安排如下：

第二章阐述了 LED 的基础，并介绍了 LED 驱动方式中开关电源的架构；

第三章介绍了本芯片的整体分析与设计，包括其工作原理、整体结构、器件选择、功能描述及实现等；

第四章讲解了 Boost 升压转换芯片中的基本子模块电路及其仿真；

第五章对芯片的整体应用线路的正常状态及故障保护进行了仿真；

第六章讲述版图设计中采用的技巧以及系统的整体版图，芯片封装以及各项指标的测试；

第七章为论文的总结与展望。

## 第二章 LED 基础及开关电源架构

### 2.1 LED 基础

#### 2.1.1 LED 的发光特性

LED 的核心是一个半导体的晶片，半导体晶片由两部分组成，一部分是 P 型半导体，在它里面空穴占主导地位，另一端是 N 型半导体，在这边主要是电子。但这两种半导体连接起来的时候，它们之间就形成一个“P-N”。当电流通过导线作用于这个晶片的时候，电子就会被推向 P 区，在 P 区里电子跟空穴复合，然后就会以光子的形式发出能量，这就是 LED 发光的原理。

1、伏安特性：由于 LED 的核心是 PN 结，因此 LED 的伏安特性与普通二极管的伏安特性相同，具有单向导电性。其特性曲线如图 2.1 所示，呈非线性关系，当 LED 两端电压小于其导通电压时，LED 中基本没有电流通过。但当 LED 两端电压超过其导通电压后，正向电压变化的一点微小波动都能导致正向电流的剧烈变化。而 LED 发光的各光学参数与流过其中的电流有直接的关系，因此 LED 对驱动电源提供的电流的稳定性要求较高。

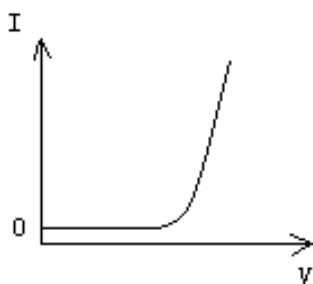


图 2.1 LED 伏安特性

2、发光亮度：根据 LED 的发光原理，PN 结中流动的少子和多子数量越多，发出的光线越强，流过的电荷数越多，通过 LED 的电流越大。因此，在一定的范围内，LED 的发光亮度基本随流过 LED 的电流正向变化，但其呈非线性关系，电流增大，发光亮度也近似增大。另外发光亮度也与环境温度有关，环境温度高



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库